

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Вотчигов З.О. Ф.И.О.

2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физика полупроводников**

(наименование дисциплины)

Основной профессиональной образовательной программы

магистратуры

(академического (ой)/прикладного (ой) бакалавриата/магистратуры)

03.04.02 «Физика»

(код и наименование направления подготовки/специальности)

«Физика полупроводников»

(наименование профиля подготовки (при наличии))

**Квалификация выпускника**

магистр

**Форма обучения**

очная

(очная, заочная)

МАГАС, 2018 г.

Составители рабочей программы

Профессор, доктор физ. – мат наук, доцент Магомадов Рукман Масудович

(должность, уч. степень, звание)

(подпись)



(Ф. И. О.)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры общей физики

Протокол заседания № 8 от « 23 » апреле 2018 г.

Заведующий кафедрой



(подпись)

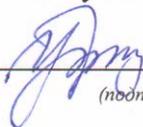
/ Мерихова З.С.

(Ф. И. О.)

Рабочая программа одобрена учебно-методическим советом физико-математического факультета.

Протокол заседания № 4 от « 4 » мая 2018 г.

Председатель учебно-методического совета



(подпись)

/ Тлакшеев У.А.

(Ф. И. О.)

Рабочая программа одобрена учебно-методическим советом физико-математического факультета

Протокол заседания № 4 от « 4 » мая 2018 г.

Председатель учебно-методического совета



(подпись)

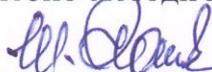
/ Тлакшеев У.А.

(Ф. И. О.)

Программа рассмотрена на заседании Учебно-методического совета университета

протокол № 9 от « 23 » мая 2018 г.

Председатель Учебно-методического совета университета



(подпись)

/ Рамазанов И.Б.

(Ф. И. О.)

УДК 53(075)8+537,212(075.8)  
ББК 22.3

Магомадов Р.М. Физика полупроводников. Рабочая программа. – М: Ингушский государственный университет, кафедра «общей физики», 2018 г. – 35с.

Рецензент: А. Х. Матиев, доктор физико-математических наук, профессор

Рабочая программа предназначена для магистров 1 курса Ингушского государственного университета, обучающихся по специальности 03.04.02 - «Физика». Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ГОС ВПО, охватывает весь круг вопросов по изучаемой дисциплине.

Учебное издание

Магомадов Рукман Масудович.  
Физика полупроводниковых приборов.  
Компьютерный набор верстка

Р.М.Магомадов

Формат 60

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧАЕМОЙ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	5
1.1. Цель преподавания дисциплины.....	5
1.2. Место дисциплины в учебном процессе.....	5
1.3. Требования, к уровню освоения содержания дисциплины «Физика полупроводников» .....	5
1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	5
<b>2.СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА</b> .....	9
2.1Содержание разделов дисциплины.....	9
2.2Структура дисциплины.....	10
2.3Форма итогового контроля.....	10
2.4 Программа курса «Физика полупроводников».....	11
2.5Лабораторные работы.....	12
2.6Практические занятия.....	13
2.7 Курсовой проект.....	14
<b>3.САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	15
<b>4. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	16
4.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях.....	16
<b>5.ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО, РУБЕЖНОГО, ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ</b> .....	16
5.1 Перечень оценочных средств.....	16
5.2Вопросы для рубежной аттестации.....	17
5.3. Методические рекомендации для проведения коллоквиумов.....	20
5.4. Шкалы и критерии оценивания при текущем и рубежном контроле.....	20
<b>6.ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	21
6.1 Вопросы к экзамену.....	21
6.2Методические рекомендации при подготовке к экзамену.....	23
6.3Шкала и критерии оценивания при итоговом контроле.....	24
6.4 График рейтинговых мероприятий.....	24
<b>7. УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	25
7.1 Рекомендуемые лекционные демонстрации по курсу «Физика полупроводников» .....	25
7.2 Литература к дисциплине «Физика полупроводников» 7.2.1 Основная литература.....	25
7.2.2 Дополнительная литература.....	26
7.3 Периодические издания.....	26
7.4 Методические указания к лабораторным работам.....	23
7.5 Методические указания к практическим занятиям.....	26
7.6 Программное обеспечение современных информационно – коммуникационных технологий.....	26
<b>8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	27

## **1. Цели и задачи дисциплины ее место в учебном процессе**

### **1.1 Цели и задачи дисциплины**

#### **Цели дисциплины**

Целью дисциплины «Физика полупроводников» является: формирование у студентов основных понятий, принципов физики полупроводников, навыков практического применения знаний к решению физических задач по физике полупроводников.

#### **Задачи дисциплины:**

получить представление о полупроводниках; применять на практике знание физических законов к решению учебных, научных и научно-технических задач; самостоятельно ставить и решать физические задачи.

### **1.2. Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина относится к вариативной части профессионального цикла Б1. В, , к разделу Б.1В.ДВ.2- дисциплины по выбору

#### ***Связь с предшествующими дисциплинами.***

Данный курс опирается на такие дисциплины, как высшая математика, общая физика.

#### ***Связь с последующими дисциплинами***

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении дисциплин: физика конденсированного состояния вещества; физика полупроводниковых приборов; физика и технология полупроводниковых материалов; низкоразмерные полупроводниковые структуры.

### **1.3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины**

Дисциплина нацелена на формирование общекультурных и профессиональных компетенций:

способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

способностью методически грамотно строить планы лекционных и практических занятий по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы учебных дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями (ПК-7).

**знать:** методы и приемы решения задач по основам физики полупроводников;  
основные принципы, лежащие в основе физики полупроводников;

**уметь:** приводить к формальному виду условия реальных физических задач; использовать общие решения математических задач для поиска решения физических задач; использовать при работе справочную и учебную литературу; находить другие необходимые источники информации и работать с ними.

**владеть:**- методами расчета и применять методы дифференциального исчисления для решения физических задач.

-экспериментальными методиками изучения физических свойств веществ.

**Таблица 1.1**

**1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Этап (уровень) освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3	4	5
Первый этап (базовый, пороговый) (ПК-2)	Знать фундаментальные основы физики и астрономии, а также наук о материалах (соответствующие уровню магистра физики)	Фрагментарные знания фундаментальных основ физики и астрономии, а также наук о материалах (соответствующих уровню магистра физики)	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание фундаментальных основ физики и астрономии, а также наук о материалах (соответствующих уровню магистра физики)	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание фундаментальных основ физики и астрономии, а также наук о материалах (соответствующих уровню магистра физики)	Полностью сформированное и системное знание фундаментальных основ физики и астрономии, а также наук о материалах (соответствующих уровню магистра физики)
	Знать основные научные результаты, полученные в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях	Фрагментарные знания основных научных результатов, полученных в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных научных результатов, полученных в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных научных результатов, полученных в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях	Полностью сформированное и системное знание основных научных результатов, полученных в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и в смежных областях
	Знать основные и приоритетным направления научные исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения	Фрагментарные знания основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения	Полностью сформированное и системное знание основных и приоритетных направлений научных исследований и разработок в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения
	Уметь применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Частично освоенное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	В целом успешное, но не системное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	Полностью сформированное умение применять результаты научных исследований в инновационной деятельности



Этап (уровень) освоения компетенции*	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3	4	5
Первый этап (базовый, пороговый) (ПК-7)	Знать основные документы (в том числе локальные нормативные документы ННГУ), регламентирующие научно-исследовательскую деятельность	Фрагментарное знание основных документов (в том числе локальных нормативных документов ННГУ), регламентирующих научно-исследовательскую деятельность	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание основных документов (в том числе локальных нормативных документов ННГУ), регламентирующих научно-исследовательскую деятельность	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание основных документов (в том числе локальных нормативных документов ННГУ), регламентирующих научно-исследовательскую деятельность	Полностью сформированное и системное знание основных документов (в том числе локальных нормативных документов ННГУ), регламентирующих научно-исследовательскую деятельность
	Знать сущность педагогического процесса, методы, приемы, средства организации и управления педагогическим процессом (в том числе - научным руководством),	Фрагментарное знание сущности педагогического процесса, методов, приемов, средств организации и управления педагогическим процессом (в том числе - научным руководством)	Неполное (содержащее существенные пробелы) знание сущности педагогического процесса, методов, приемов, средств организации и управления педагогическим процессом (в том числе - научным руководством)	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы, знание сущности педагогического процесса, методов, приемов, средств организации и управления педагогическим процессом (в том числе - научным руководством)	Полностью сформированное и системное знание сущности педагогического процесса, методов, приемов, средств организации и управления педагогическим процессом (в том числе - научным руководством)
	Уметь применять на практике (при научном руководстве) профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Частично освоенное умение применять на практике (при научном руководстве) профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	В целом успешное, но не системное умение применять на практике (при научном руководстве) профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять на практике (при научном руководстве) профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Полностью сформированное умение применять на практике (при научном руководстве) профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
	Уметь проектировать и планировать работу с воспитанниками, ставить цели и задачи воспитания с учетом индивидуальных особенностей обучающихся	Частично освоенное умение проектировать и планировать работу с воспитанниками, ставить цели и задачи воспитания с учетом индивидуальных особенностей обучающихся	В целом успешное, но не системное умение проектировать и планировать работу с воспитанниками, ставить цели и задачи воспитания с учетом индивидуальных особенностей обучающихся	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение проектировать и планировать работу с воспитанниками, ставить цели и задачи воспитания с учетом индивидуальных особенностей обучающихся	Полностью сформированное умение проектировать и планировать работу с воспитанниками, ставить цели и задачи воспитания с учетом индивидуальных особенностей обучающихся
	Уметь анализировать, давать оценку сложным педагогическим ситуациям и конфликтам, четко формулировать собственную точку зрения, аргументировано ее отстаивать	Частично освоенное умение анализировать, давать оценку сложным педагогическим ситуациям и конфликтам, четко формулировать собственную точку зрения, аргументировано ее отстаивать	В целом успешное, но не системное умение анализировать, давать оценку сложным педагогическим ситуациям и конфликтам, четко формулировать собственную точку зрения, аргументировано ее отстаивать	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение анализировать, давать оценку сложным педагогическим ситуациям и конфликтам, четко формулировать собственную точку зрения, аргументировано ее отстаивать	Полностью сформированное умение анализировать, давать оценку сложным педагогическим ситуациям и конфликтам, четко формулировать собственную точку зрения, аргументировано ее отстаивать

Владеть навыками проектирования и осуществления научного руководства бакалаврами по отдельным разделам их подготовки	Фрагментарное применение навыков проектирования и осуществления научного руководства бакалаврами по отдельным разделам их подготовки	В целом успешное, но не систематическое применение навыков проектирования и осуществления научного руководства бакалаврами по отдельным разделам их подготовки	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков проектирования и осуществления научного руководства бакалаврами по отдельным разделам их подготовки	Успешное и систематическое применение навыков проектирования и осуществления научного руководства бакалаврами по отдельным разделам их подготовки
Владеть культурой педагогического общения и правилами эффективного руководства	Фрагментарное применение навыков владения культурой педагогического общения и правилами эффективного руководства	В целом успешное, но не систематическое применение навыков владения культурой педагогического общения и правилами эффективного руководства	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков владения культурой педагогического общения и правилами эффективного руководства	Успешное и систематическое применение навыков владения культурой педагогического общения и правилами эффективного руководства

## 2.Содержание и структура дисциплины

### 2.1 Содержание разделов дисциплины

№п.п	Введение	Всего часов	Л	ЛЗ	СР	КСР	кон
1	Полупроводники. Элементарная теория полупроводников.		2	2	8		
2	Основы зонной теории полупроводников.	2	4	2	11		
3	Колебания атомов кристаллической решетки.	4	2	2	8		
4	Статистика электронов и дырок в полупроводниках	4	2	2	10		
5	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.	4	2	4	10		
6	Кинетические явления в полупроводниках.	4	2	4	8		
7	Генерация и рекомбинация в полупроводниках.	4	2	4	8		
8	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.	4	2	4	10		
9	Контактные явления в полупроводниках.	2	2	2	8		
10	Поверхностные	2	2	4	8		

	явления в полупроводниках.						
11	Поглощение света полупроводниками.	2	2	2	8		
12	Люминесценция полупроводников.	2	2	4	8		
13	Фотоэлектрические явления в полупроводниках.	2	2	4	8		
14	Итого	216	28	44	113	4	27

## 2.2 Структура дисциплины

**Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 часов)**

Виды занятий	Всего часов
Общая трудоемкость	216
Аудиторные занятия	76
Лекции (Л)	28
Лабораторные занятия (ЛЗ)	44
Практические занятия (ПР)	
КСР	4
Самостоятельная работа (СР)	113
Итоговая форма контроля (по ЛР и ПР)	
Итоговая форма контроля лекционного курса	Э

### 2.3 Форма итогового контроля.

Формой итогового контроля по лекциям является устный экзамен. К экзамену допускаются магистры, получившие зачет по семинарским занятиям и по практикуму. Устный экзамен проходит по билетам, каждый из которых содержит два вопроса. Каждый вопрос содержит один пункт программы курса или его часть. Для получения зачета по семинарским занятиям магистрант обязан решить не менее двух письменных контрольных работ, выполнить все домашние задания и успешно выступить на семинаре.

Для получения зачета по лабораторному практикуму магистрант должен выполнить все лабораторные работы, предусмотренные учебным планом.

## **2.4 ПРОГРАММА КУРСА «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».**

**Введение.** Отличительные физические признаки полупроводников. Полупроводники, Металлы и диэлектрики. Модельные представления о механизме электропроводности примесных и собственных полупроводников. Энергетический спектр электрона в полупроводнике. Зона проводимости и валентная зона. Ширина запрещенной зоны в полупроводниках. Представление о дырках.

### **Основы зонной теории полупроводников**

Уравнение Шредингера для кристаллов. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация. Одноэлектронное приближение. Приближение сильно связанных электронов. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Возможное заполнение электронных состояний валентной зоны. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителей заряда. Циклотронный резонанс. Зонная структура некоторых полупроводников. Метод эффективной массы. Элементарная теория примесных состояний.

### **Колебание атомов кристаллической решетки.**

Колебание одноатомной линейной цепочки. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты. Колебание одноатомной линейной цепочки. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты. Статистика фононов. Теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.

### **Статистика электронов и дырок в полупроводниках.**

Плотность квантовых состояний. Функция Ферми-Дирака. Степень заполнения примесных уровней. Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака. Примесные и собственные полупроводники. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью. Примесные зоны.

### **Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках**

Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Эффективное сечение рассеяния. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.

### **Кинетические явления в полупроводниках.**

Неравновесная функция распределения. Удельная проводимость полупроводников. Зависимость подвижность носителей заряда от

температуры. Эффект Холла. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников. Эффект Ганна. Ударная ионизация.

## **2.5 Лабораторные работы**

### **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»**

1. Определение типа проводимости полупроводников
2. Измерение сопротивления материалов и определение удельной электропроводности.
3. Изучение температурной зависимости  $\sigma$  полупроводников и металлов.
4. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника
5. Изучение температурной зависимости  $\sigma$  полупроводников и определение энергии активации носителей заряда.
6. Расчет эффективной плотности состояний электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.
7. Расчет энергии уровня Ферми для электронов в собственном полупроводнике.
8. Изучение температурной зависимости эффективной плотности состояний электронов и дырок в полупроводниках
9. Расчет концентрации электронов и дырок в собственных полупроводниках.
10. Определение температуры вырождения собственного полупроводника.
11. Определение энергии уровня Ферми для электронов и дырок, в вырожденных полупроводниках.
12. Определение энергии ионизации основной примеси и концентрации разно заряженных центров.
13. Расчет концентрации электронов и дырок в примесных полупроводниках.
14. Определение температуры вырождения примесного полупроводника.
15. Влияние концентрации примеси и температуры на свойства полупроводника.
16. Изучение упруго оптического эффекта в кристаллах.
17. Исследование термоэлектродвижущей силы в полупроводниках
18. Изучение эффекта Холла в полупроводниках.
19. Изучение вольт амперных и люкс амперных характеристик фотоэлемента.
20. Изучение фотопроводимости полупроводников и определение релаксационного времени жизни фотоносителей.
21. Изучение энергетической структуры полупроводника с помощью внешнего фотоэффекта.

## **2.6 Практические занятия**

## Семинарские и практические занятия по спецкурсу «Физика полупроводников».

### Практические занятия 1 курс, 1 семестр

1. Электропроводность. Элементарная теория электропроводности полупроводников.
2. Металл, полупроводник, диэлектрики
3. Решение задач на тему «Электропроводность собственных и примесных полупроводников» №1.2, 7.1, 9.1, 1.12, 1.1, 1.10. (6)
4. Зонная структура некоторых полупроводников
5. Элементарная теория примесных состояний.
6. Теплоемкость кристаллической решетки. Тепловое сопротивление и тепловое расширение твердого тела.
7. Решение задач на тему «Статистика электронов и дырок в полупроводниках»
8. Концентрация электронов и дырок в собственных полупроводниках.
9. Эффективная плотность состояний электронов и дырок в примесном полупроводнике.
10. Уровень Ферми в примесных полупроводниках.
12. Концентрация электронов и дырок в примесных полупроводниках n-типа.
13. Концентрация электронов и дырок в примесных полупроводниках p-типа.
14. Эффект Холла в собственных и примесных полупроводниках. 1.5, 1.22, 2.1, 2.2, 2.5, 2.6, 2,8 (6)
15. Магниторезистивный эффект 2.7, 1.4, 2.9, 2.11, 2.12 (6)
16. Термоэлектродвижущая сила 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 10.1 (6)
17. Эффект Пельтье, эффект Томсона 4.1, 4.5, 4.9, 4.10, 4.11 (6)
18. Эффект Нернста-Эттинсгаузена 4.4, 4.5, 4,9 4.10 (6)

### Практические занятия 1 курс, 2 семестр

1. Глубокие примесные уровни в полупроводниках 7.23 (7)
2. Частично компенсированные полупроводники.
3. Дефект в полупроводниках.
4. Изменение  $h$  и  $\sigma$  при освещении.
5. Рекомбинация носителей заряда 46, 47, 48, 53 (7)
6. Уровни прилипания, дефекты в полупроводниках и их влияние на процессы рекомбинации 49, 50, 51, 52 (7)
7. Диффузия электронов и дырки в невырожденных полупроводниках 60, 61, 56,66. (7)
8. Определение неравновесной концентрации носителей заряда при неоднородной генерации.
9. Диффузия электронов и дырок в невырожденных полупроводниках. 62, 63, 64. (7)

10. Эффект Дембера 75, 76, 78 (7)
11. Диффузия электронов и дырок в полупроводниках во внешнем электрическом поле 81, 82, 85, 86, 88. (7)
12. Диффузия носителей заряда в магнитном поле. 95, 96, 97. (7)
13. Объемный заряд в приповерхностном слое полупроводника 103, 104, 105, 106, 107. (7)
14. Потенциал в приповерхностном слое полупроводника 103, 104, 105, 106, 107. (7)
15. Работа выхода носителей заряда из полупроводника 108, 109, 110. (7)
16. Фото – э.д.с.в полупроводниках 147, 148, 149, 151, 152 (7)
17. Оптические свойства полупроводников 154,155, 156, 157, 158 (7)

### Литература к практическим занятиям

1. П.С. Киреев . Физика полупроводников М. 1969.
2. Г.Вайнс . Физика гальваномических полупроводниковых приборов и их применение М. 1974г.
3. А.В. Рисанов. Электромагнитные процессы на поверхности полупроводника М. 1971г.
4. Ж.Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М. 1972
5. Т.Д. Надтока , З.А, Исмаилов. Сборник задач на явления переноса в полупроводниках. Грозный 1979г.
6. И.М. Цидильковский. Электроны и дырки в полупроводниках. М. 1972
7. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В. Карпенко, А.Г.Миронов Сборник задач по физике полупроводников М. 1987

### 2.7 Курсовой проект

#### ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ».

1. Релаксация фотопроводности полупроводников.
- 2 Изучение энергетического спектра полупроводника с помощью внешнего фотоэффекта
- 3.Фотоэффект в высокоомных полупроводниках.
- 4.Фотоэлемент как преобразователь световой энергии в электрическую.
5. Время релаксации неравновесных зарядов в полупроводниках
- 6.Влияние рассеяния носителей заряда на нейтральных примесях на величину подвижности в полупроводниках.
7. Влияние рассеяния носителей заряда на ионах примеси на величину подвижности в высокоомном полупроводнике ZnS.
- 8.Влияние рассеяния носителей заряда на акустических и оптических фонах на величину подвижности в твердых телах..
9. Упругооптический эффект в кристаллах.

10. Изучение физических свойств полупроводниковых термисторов.
11. Терморезисторы и их практическое применение.
12. Изучение физических свойств симметричных стабилитронов.
13. Изучение физических свойств варикапов.
14. Термоэлектродвижущая сила в полупроводниковых материалах.
15. Теплопроводность собственных полупроводников.
16. Теплопроводность примесных полупроводников

### 3. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПОДГОТОВКИ К ПРОМЕЖУТОЧНОМУ КОНТРОЛЮ.

№	Содержание темы	Часы СРС	Форма контроля
1	Плотность квантовых состояний	4	устный опрос
2	. Функция Ферми-Дирака.	4	устный опрос
3	Степень заполнения примесных уровней.	4	устный опрос
4	Концентрация электронов и дырок. Интеграл Ферми-Дирака.	6	устный опрос
5	Примесные и собственные полупроводники.	4	устный опрос
6	Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для вырожденного полупроводника.	6	устный опрос
7	Примесные зоны.	4	устный опрос
8	Кинетическое уравнение Больцмана.	6	устный опрос
9	Равновесное состояние.	4	устный опрос
10	Время релаксации.	4	устный опрос
11	Эффективное сечение рассеяния	4	устный опрос
12	Типы центров рассеяния.	4	устный опрос
13	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	4	устный опрос
14	Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.	6	устный опрос
15	Рассеяние на тепловых колебаниях решетки.	4	устный

			опрос
16	Неравновесная функция распределения.	6	устный опрос
17	Удельная проводимость полупроводников.	4	устный опрос
18	Зависимость подвижность носителей заряда от температуры.	6	устный опрос
19	Эффект Холла.	4	устный опрос
20	Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.	6	устный опрос
21	Магниторезистивный эффект.	4	устный опрос
22	Термоэлектрические явления. Теплопроводность полупроводников.	6	устный опрос
23	Эффект Ганна.	4	устный опрос
24	Ударная ионизация.	5	
	Итого	113	

#### 4.Образовательные технологии

##### 4.1 Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

СЕМЕСТР	ВИД ЗАНЯТИЯ (Л, ПР, ЛР)	ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ
1,2	Л	Презентации	8
	ПР		
	ЛР	Презентации, обучающее тестирование	4
<b>ИТОГО:</b>			<b>12</b>

#### 5.ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, РУБЕЖНОГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ.

##### 5.1 Перечень оценочных средств

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представленность оценочного средства в ФОС
1	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала раздела или разделов, темы дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по разделам/темам дисциплины
3	Экзаменационные материалы	Итоговая форма оценки знаний	Примерный перечень вопросов и заданий к экзамену по дисциплине

## 5.2 Вопросы для рубежной аттестации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ингушский государственный университет»

Кафедра общей физики

### Вопросы для коллоквиума(1курс-1 семестр)

по дисциплине: Физика полупроводников

#### Коллоквиум № 1 (рубежный контроль 1)

##### Разделы дисциплины:

1	Полупроводники. Элементарная теория полупроводников.
2	Основы зонной теории полупроводников.

### Вопросы

1. Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
2. Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
3. Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников
4. Элементарная теория электропроводности.
5. Уравнение Шредингера для кристалла.
6. Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация
7. Одноэлектронное приближение
8. Приближение сильно связанных электронов.
9. Число состояния электронов в энергетической зоне.
10. Квазиимпульс электрона в кристалле.

11. Зоны Бриллюэна.
12. Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
13. Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
14. Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
15. Эффективная масса носителей заряда.
16. Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главные оси тензора эквивалентны

## Коллоквиум № 2 ( рубежный контроль 2)

### Раздел дисциплины:

3	Колебания атомов кристаллической решетки.
4	Статистика электронов и дырок в полупроводниках

### Вопросы

1. Циклотронный резонанс.
2. Колебание одноатомной линейной цепочки.
3. Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки. Нормальные координаты.
4. Колебания двухатомной линейной цепочки
5. Колебания атомов трехмерной решетки.
6. Статистика фононов.
7. Теплоемкость кристаллической решетки.
8. Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.
9. Плотность квантовых состояний.
10. Функция распределения Ферми-Дирака.
11. Степень заполнения примесных уровней.
12. Концентрация электронов и дырок в зонах.
13. Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
14. Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
15. Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
16. Собственный полупроводник.
17. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
18. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ( $N_a=0$ ).
19. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ( $N_d=0$ ).
20. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
21. Примесные зоны.
22. Аморфные полупроводники

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ингушский государственный университет»

Кафедра общей физики

**Вопросы для коллоквиума(1курс-2 семестр)**

по дисциплине: Физика полупроводников

**Коллоквиум № 1 (рубежный контроль 1)**

**Разделы дисциплины:**

1	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках.
2	Кинетические явления в полупроводниках.
3	Генерация и рекомбинация в полупроводниках.
4	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда.

**Вопросы**

- 1.Соотношение Эйнштейна.
- 2.Полупроводники во внешнем электрическом поле.
3. Контакт металл – полупроводник.
- 4.Контактная разность потенциалов.
5. Контакт металл – металл.
- 6.Выпрямление на контакте металл – полупроводник.
- 5.Контакт электронного и дырочного полупроводника.
- 7.Выпрямление на p-n переходе.
- 8..Природа поверхностных уровней. Эффект поля.
- 9.Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
- 10.Спектр отражения и спектр поглощения.
- 11.Собственное поглощение при прямых перехода
- 12.Собственные поглощения при непрямых переходах
- 13.Экситонное поглощение

Кафедра общей физики

**Вопросы для коллоквиума(1курс-2 семестр)**

по дисциплине: Физика полупроводников

**Коллоквиум № 2 (рубежный контроль 2)**

**Разделы дисциплины:**

1	Контактные явления в полупроводниках.
2	Поверхностные явления в полупроводниках.
3	Поглощение света полупроводниками.
4	Люминесценция полупроводников.
5	Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

**Вопросы**

- 1.Примесное поглощение
- 2.Решеточное поглощение.
- 3.Типы люминесценции.
- 4.Мономолекулярное свечение твердых тел.
- 5.Рекомбинационное излучение при фундаментальных переходах.
- 6.Рекомбинационное излучение при переходах между зонной и примесными уровнями.
- 7.Спонтанное и вынужденное излучение атома.
- 8.Стимулированное излучение твердых тел.
- 9.Внутренний фотоэффект.
- 10.Фотопроводимость.
- 11.Эффект Дембера.
- 12.Внешний фотоэффект.
- 13.Рассеяния на тепловых колебаниях решетки.

### 5.3.Методические рекомендации по проведению коллоквиумов.

Посредством проведения коллоквиумов осуществляется промежуточная аттестация по дисциплине «Физика полупроводников». На коллоквиум выносятся ключевые вопросы каждого раздела. Коллоквиум проводится в виде собеседования (устного опроса). На поставленный вопрос может отвечать как один студент, так и несколько, дополняя и расширяя ответы друг друга. Каждый студент имеет возможность ответить на несколько вопросов. Минимальное количество вопросов, позволяющее оценить текущий уровень знаний студента, – два.

### 5.4.Шкалы и критерии оценивания при текущем и рубежном контроле

При проведении текущего контроля (рубежных аттестаций) используется пятибалльная система оценивания, которая затем переводится в баллы согласно балльно-рейтинговой системе, принятой в вузе.

#### Шкала и критерии оценивания коллоквиума по пятибалльной системе

оценка «отлично»	Студент показывает высокий уровень теоретических знаний по изучаемой дисциплине, видит междисциплинарные связи. Умеет анализировать практические ситуации. Ответ построен логично. Материал излагается четко, ясно, аргументировано
оценка «хорошо»	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно
оценка «удовлетворительно»	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров
оценка «неудовлетворительно»	Студент показывает слабый уровень теоретических знаний, не может привести примеры из реальной практики. Неуверенно и логически непоследовательно излагает материал. Неправильно отвечает на дополнительные вопросы

## 6.ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ингушский государственный университет»

Кафедра общей физики

### 6.1 Вопросы к экзамену (примерный перечень вопросов и заданий к экзамену)

по дисциплине "Физика полупроводников"  
для магистров 1 курса (2 семестр)  
направления подготовки 03.04.02 «Физика»

- 1.Классификация веществ по величине удельной электропроводности.
- 2.Модельные представления о механизме электропроводности собственных полупроводников.
- 3.Модельные представления о механизме электропроводности примесных полупроводников
- 4.Элементарная теория электропроводности.
- 5.Уравнение Шредингера для кристалла.
- 6.Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация
- 7.Одноэлектронное приближение
- 8.Приближение сильно связанных электронов.
- 9.Число состояния электронов в энергетической зоне.
- 10.Квазиимпульс электрона в кристалле.
- 11.Зоны Бриллюэна.
- 12.Возможные заполнения электронных состояний валентной зоны.
- 13.Зависимость энергий электрона у дна и потолка энергетической зоны.
- 14.Движение электрона в кристалле под действием внешнего электрического поля.
- 15.Эффективная масса носителей заряда.
- 16.Уравнение изоэнергетической поверхности электрона и вид тензора эффективной массы для кристаллов, у которых две главные оси тензора эквивалентны
- 17.Циклотронный резонанс.
- 18.Колебание одноатомной линейной цепочки.
- 19.Кинетическая и потенциальная энергии одномерной решетки.  
Нормальные координаты.
- 20.Колебания двухатомной линейной цепочки
- 21.Колебания атомов трехмерной решетки.
- 22.Статистика фононов.
- 23.Теплоемкость кристаллической решетки.
- 24.Термическое расширение и тепловое сопротивление твердого тела.
- 25.Плотность квантовых состояний.

26. Функция распределения Ферми-Дирака.
27. Степень заполнения примесных уровней.
28. Концентрация электронов и дырок в зонах.
29. Равновесные концентрации дырок и электронов в примесном полупроводнике.
30. Равновесная концентрация электронов и дырок в невырожденном донорном и акцепторном полупроводниках.
31. Равновесная концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном полупроводнике.
32. Собственный полупроводник.
33. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
34. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для донорного полупроводника ( $N_a=0$ ).
35. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для акцепторного полупроводника ( $N_d=0$ ).
36. Зависимость положения уровня Ферми от температуры для невырожденного полупроводника с частично компенсированной примесью.
37. Примесные зоны.
38. Механизмы рассеяния электронов и дырок в полупроводниках.
39. Кинетическое уравнение Больцмана.
40. Равновесное состояние системы носителей заряда в полупроводнике.
41. Время релаксации.
42. Рассеяние на ионах примесей.
43. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях.
44. Удельная проводимость полупроводников.
45. Неравновесная функция распределения.
46. Эффект Холла.
47. Эффект Холла в полупроводниках с двумя типами носителей заряда.
48. Магниторезистивный эффект.
49. Термоэлектрические явления.
50. Теплопроводность полупроводников.
51. Эффект Ганна.
52. Равновесные и неравновесные носители заряда.
53. Биполярная световая генерация носителей заряда.
54. Монополярная световая генерация.
55. Максвелловское время релаксации.
56. Межзонная рекомбинация.
57. Межзонная ударная рекомбинация.
58. Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки.
59. Уравнение непрерывности.
60. Диффузия и дрейфовые потоки.
61. Соотношение Эйнштейна.
62. Полупроводники во внешнем электрическом поле.

63. Контакт металл – полупроводник.
64. Контактная разность потенциалов.
65. Контакт металл – металл.
66. Выпрямление на контакте металл – полупроводник.
67. Контакт электронного и дырочного полупроводника.
68. Выпрямление на p-n переходе.
69. Природа поверхностных уровней. Эффект поля.
70. Поверхностная рекомбинация. Влияние поверхностной рекомбинации на время жизни носителей заряда.
71. Спектр отражения и спектр поглощения.
72. Собственное поглощение при прямых переходах
73. Собственные поглощения при непрямых переходах
74. Экситонное поглощение
75. Примесное поглощение
76. Решеточное поглощение.
77. Типы люминесценции.
78. Мономолекулярное свечение твердых тел.
79. Рекомбинационное излучение при фундаментальных переходах.
80. Рекомбинационное излучение при переходах между зонной и примесными уровнями.
81. Спонтанное и вынужденное излучение атома.
82. Стимулированное излучение твердых тел.
83. Внутренний фотоэффект.
84. Фотопроводимость.
85. Эффект Дембера.
86. Внешний фотоэффект.
87. Рассеяния на тепловых колебаниях решетки.

## **6.2. Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Подготовка студентов к экзамену включает следующие стадии: самостоятельная работа в течение учебного года (семестра); непосредственная подготовка в дни, предшествующие экзамену.

Подготовку к экзамену необходимо целесообразно начать с планирования и подбора источников и литературы. Прежде всего, следует внимательно перечитать учебную программу и программные вопросы для подготовки к экзамену, чтобы выделить из них наименее знакомые. Далее должен следовать этап повторения всего программного материала. На эту работу целесообразно отвести большую часть времени. Следующим этапом является самоконтроль знания изученного материала, который заключается в устных ответах на вопросы, выносимые на экзамен. Тезисы ответов на наиболее сложные вопросы желательно записать, так как в процессе записи включаются дополнительные моторные ресурсы памяти.

Литература для подготовки к экзамену обычно рекомендуется преподавателем. Она также может быть указана в программе курса и учебно-методических пособиях.

В ходе подготовки к экзамену студентам необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания категорий и реальных проблем. А это достигается не простым заучиванием, а усвоением прочных, систематизированных знаний, аналитическим мышлением. Следовательно,

непосредственная подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

В этот период полезным может быть общение студентов с преподавателями по дисциплине на групповых и индивидуальных консультациях. Хорошо помогает совместная подготовка двух или нескольких обучающихся.

### 6.3. Шкала и критерии оценивания при итоговом контроле

При проведении итогового контроля используется пятибалльная система оценивания.

оценка «отлично»	Студент показывает высокий уровень теоретических знаний по изучаемой дисциплине, видит междисциплинарные связи. Умеет анализировать практические ситуации. Ответ построен логично. Материал излагается четко, ясно, аргументировано
оценка «хорошо»	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно
оценка «удовлетворительно»	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров
оценка «неудовлетворительно»	Студент показывает слабый уровень теоретических знаний, не может привести примеры из реальной практики. Неуверенно и логически непоследовательно излагает материал. Неправильно отвечает на дополнительные вопросы

### 6.4. График рейтинговых мероприятий

1 Семестр

№ семестра	месяц				
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь
1	Лекции.				
1		коллоквиум		коллоквиум	
	Лабораторные занятия				
1		аттестация		аттестация	зачет

## 2. Семестр

№ семестра	месяц				
	февраль	март	апрель	май	июнь
1	Лекции.				
1		коллоквиум		коллоквиум	экзамен
	Лабораторные занятия				
1		аттестация		аттестация	

## 7. УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Рекомендуемые лекционные демонстрации по курсу «Физика полупроводников»

1. Схема зависимости функции распределения Ферми-Дирака и Больцмана от энергии носителей.
2. Схема процессов генерации и рекомбинации фотоносителей.
3. Схема прямых и непрямых переходов.
4. Схема зависимости энергии Ферми от температуры.
5. Схема фотовольтаического эффекта.
6. Схема магнитодиодного эффекта.
7. Схема конструкции полупроводникового лазера.

### 7.2 ЛИТЕРАТУРА К СПЕЦКУРСУ « ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

#### 7.2.1 Основная

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников М. «Лань» 2010 г.
2. В.Л. Бонч - Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников М. «Наука» 1977г.
3. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М.«Лань». 2008 г.
4. В.В. Румянцев, С.В. Морозов,К.Е, КудрявцевВ.И. Гавриленко, Д.В. Козлов. Особенности примесной фотопроводимости в кремнии легированном бором. XVI симпозиум « Нанозфизика и наноэлектроника». Нижний Новгород. ФТП. 2012.
5. Г.Г. Зегря, В.И.Перель. Основы физики полупроводников. Физматгиз.2009.

6. О.Б. Гусев, А.Н. Поддубный, А.А. Прокофьев, И.Н.Ясиевич. Излучение кремниевых нанокристаллов. Международная конференция «КРКЕМНИЙ – 2012». Санкт-Петербург. ФТП.2013, том 47, выпуск 2.

### 7.2.2 Дополнительная

1. Л.К.Зеегер. Физика полупроводников М. «Мир» 1977г.
2. С. Стилбанс. Физика полупроводников. М. Изд. «Сов. радио» 1967г.
3. П.С. Киреев. Физика полупроводников. Изд. Высшая школа 1969г
4. В.И. Фистуль Введение в физику полупроводников М. Изд. Высшая школа. 1978г.
5. И.М. Цидильковский. Электроны и дырки в полупроводниках. М. 1972
6. Ж.Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М. 1972
7. А.В.Рисанов. Электромагнитные процессы на поверхности полупроводника М. 1971г.
8. А. А. Харламов. Специальный физический практикум, 2.МГУ. 1977г.
9. Г.Вайнс. Физика гальваномических полупроводниковых приборов и их применение М. 1974г.
10. Г.Дж. Гольдсмит. Задачи по физике твердого тела М. 1976.
11. В.М. Фридкин. Сегнетоэлектрики - полупроводники М. «Наука» 1976г.
12. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В. Карпенко, А.Г.Миронов Сборник задач по физике полупроводников М. 1987
13. Т.Д. Надтока, З.А, Исмаилов. Сборник задач на явления переноса в полупроводниках. Грозный 1979г.

### 7.3 Периодические издания

1. Известия АН РФ .Серия физическая.
2. Физика и техника полупроводников
3. Физика твердого тела
4. Оптика и спектроскопия
5. Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки

### 7.4.Методические указания к лабораторным работам

Лабораторные работы обеспечены методическими указаниями

### 7.5 Методические указания к практическим занятиям

Практические занятия обеспечены методическими указаниями

### 7.6 Программное обеспечение современных информационно – коммуникационных технологий (лицензионное)

Программное обеспечение выбрано в соответствии с каталогом лицензионных программных продуктов, используемых в Ингушском государственном университете

1. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
2. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.

3. Программный продукт «Антивирус Касперского».
4. Программный продукт MAPLE.
5. Программный продукт Fine Reader 7.0 Professional Edition.
6. Программный продукт MATCAD

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерный класс, оргтехника, теле- и аудиоаппаратура (всё – в стандартной комплектации для лабораторных занятий и самостоятельной работы); доступ к сети Интернет (во время самостоятельной подготовки и на лабораторных занятиях).